

JENIS-JENIS BAHAN BERUBAH FASA DAN APLIKASINYA

(PHASE CHANGE MATERIALS AND ITS APPLICATIONS)

Wiwik Pudjiastuti

Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementerian Perindustrian
Jl. Balai Kimia No. 1 Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur

E-mail : wiwikpudjiastuti@yahoo.com

Received 25 Maret 2011; revised 31 Maret 2011; accepted 11 April 2011

ABSTRAK

Bahan berubah fasa yang disebut sebagai bahan penyimpan panas laten adalah bahan yang mempunyai kemampuan untuk melepaskan energi panas yang sangat tinggi dalam waktu yang cukup lama tanpa mengalami perubahan suhu. Berdasarkan titik leleh dan panas peleburan latennya, bahan berubah fasa diklasifikasikan menjadi 2 (dua) yaitu bahan organik dan anorganik serta satu jenis lagi yang merupakan kombinasi keduanya. Yang termasuk bahan organik adalah kelompok parafin dan non parafin. Sedangkan bahan anorganik umumnya berupa hidrat garam dan logam (*metallic*). Seiring cepatnya perkembangan masyarakat dan kebutuhan akan energi terbarukan, penggunaan bahan berubah fasa menjadi sangat luas. Penggunaan ini meliputi aplikasi untuk bangunan, perlindungan dan transportasi produk yang peka terhadap suhu, *ice storage* dan beberapa aplikasi lain seperti *green house* dan *cold storage*.

Kata kunci : Bahan berubah fasa, Bahan penyimpan panas laten, Titik leleh, Panas peleburan laten

ABSTRACT

Phase change materials (PCMs) are known as latent heat storage material with releasing high thermal energy in a long time without changing in temperature. Based on melting point and latent heat of fusion, PCMs are classified into 2 (two) groups i.e. organic and inorganic materials and one combination between them. Organic materials are described as parafin and non parafin materials. Inorganic materials are classified as salts hydrates and metallics. With the rapid development of the society and demands for renewable energi, the used of PCMs become wide area of applications. These used are in the building applications, conservation and transport of temperature sensitive materials, ice storage, and some other applications such as green house and cold storage.

Key words : Phase change materials, Latent heat storage materials, Melting point, Latent heat of fusion

PENDAHULUAN

Bahan-bahan berubah fasa atau selanjutnya dikenal sebagai *Phase Change Materials (PCMs)* yang juga seringkali disebut sebagai bahan-bahan penyimpan panas laten adalah bahan yang mempunyai kemampuan untuk melepaskan energi panas yang sangat tinggi dalam jangka waktu yang cukup lama tanpa perubahan suhu (Meng 2008). Perpindahan energi panas terjadi saat bahan berubah bentuk dari padat ke cair atau cair ke padat. Hal ini dinamakan perubahan bentuk atau perubahan fasa. Awalnya pada *PCMs* padat-cair ini terjadi hal seperti bahan penyimpan konvensional dimana energi yang dilepaskan sesuai panas yang diserap. Tidak seperti halnya bahan

penyimpan energi konvensional, *PCMs* dapat menyerap dan melepaskan panas mendekati suhu konstan. *PCMs* dapat melepaskan panas lebih 4-5 kali setiap satuan volume dibandingkan bahan penyimpan energi konvensional seperti air atau batu (Sharma *et al.* 2009).

PCMs merupakan satu cara penyimpanan energi panas yang paling efisien. *PCMs* dapat digunakan untuk penyimpanan energi dan kontrol suhu. *PCMs* menjadi menarik karena mempunyai kelebihan yaitu perbandingan yang cukup tinggi antara panas yang dilepaskan dengan variasi suhu.

Dengan cepatnya perkembangan sosial masyarakat, kebutuhan energi akan semakin

meningkat. Pada saat yang bersamaan, terjadi krisis sumber energi tak terbarukan (Wang 2008). Karena itu penelitian tentang energi terbarukan banyak mendapat perhatian dan menjadi topik utama penelitian di seluruh dunia.

Klasifikasi PCMs

Secara luas PCMs diklasifikasikan menjadi 2 (dua) kelompok besar yaitu organik dan anorganik. Pengelompokan ini didasarkan pada titik leleh dan panas peleburan laten. Namun karena tidak ada satu bahan yang dapat memenuhi seluruh sifat yang diinginkan, maka dikembangkan juga PCMs yang merupakan kombinasi antara 2 kelompok bahan (Sharma *et al.* 2009).

PCMs organik

PCMs organik dapat berupa alifatik atau organik lain. Umumnya PCMs organik mempunyai rentang suhu rendah. PCMs organik mahal dan mempunyai rata-rata panas laten per satuan volume serta densitas rendah. Sebagian besar PCMs organik mudah terbakar di alam. PCMs organik dapat dibedakan sebagai parafin dan non parafin.

Parafin

Parafin terdiri dari campuran sebagian besar rantai lurus n-alkana $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH}_3$. Kristalisasi dari rantai $(\text{CH}_2)_n$ melepaskan sejumlah panas laten. Titik leleh dan panas peleburan laten meningkat dengan semakin panjangnya rantai. Kualitas parafin sebagai bahan penyimpan panas peleburan disebabkan oleh rentang suhunya yang cukup luas. Beberapa titik leleh dan panas peleburan laten parafin dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa jenis parafin

Jumlah atom C	Titik leleh(°C)	Panas peleburan laten (kJ/kg)
14	5,5	228
15	10	205
16	16,7	237,1
17	21,7	213
18	28,0	244
19	32,0	222
20	36,7	246
21	40,2	200
22	44,0	249
23	47,5	232
24	50,6	255
25	49,4	238
26	56,3	256
27	58,8	236
28	61,6	253

Sumber : Sharma *et al.* 2009

Non Parafin

PCMs dari bahan non parafin merupakan PCMs yang banyak ditemui dengan variasi sifat yang cukup banyak. Masing-masing bahan ini mempunyai karakteristik/sifat khusus tidak seperti parafin yang mempunyai sifat hampir sama. Jenis ini merupakan kategori terbanyak dari PCMs. Di antara bahan-bahan non parafin tersebut yang paling banyak adalah jenis ester, asam lemak, alkohol dan jenis-jenis glikol (Abbat *et al.* 1981; Buddhi & Sawhney 1994).

Kelompok ini seringkali dibedakan lagi menjadi kelompok asam lemak dan organik non-parafin lain. Bahan-bahan ini umumnya mudah menyala dan tidak boleh dibiarkan pada suhu tinggi, dekat nyala dan bahan pengoksidasi. Gambaran dari PCMs non parafin dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan PCMs asam lemak dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa non parafin

Material	Titik leleh (°C)	Panas laten (kJ/kg)
Formic acid	7,8	247
Caprilic acid	16,3	149
Glycerin	17,9	198,7
α -Lactic acid	26	184
Methyl palmitat	29	205
phenol	41	120
Bee wax	61,8	177
Gyolic acid	63	109
Azobenzene	67,1	121
Acrylic aci d	68,0	115
glutaric acid	97,5	156
Catechol	104,3	207
Quenon	115	171
Benzoic acid	124	167
benzamide	127,2	169,4
oxalate	54,3	178
Alpha naphtol	96	163

Sumber : Sharma *et al.* 2009

Tabel 3. Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa asam lemak

Material	Titik leleh (°C)	Panas laten (kJ/kg)
Acetic acid	16,7	184
Poly ethylene glycol	20-25	146
Capric acid	36	152
Eladic acid	47	218
Lauric acid	49	178
Pentadecanoic acid	52,5	178
Tristearin	56	190
Mirystic acid	58	199
Palmatic acid	55	163
Stearic acid	69,4	199
acetamiide	81	141

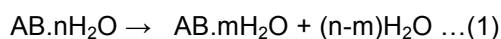
Sumber : Sharma *et al.* 2009

PCMs anorganik

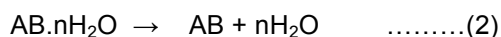
PCMs anorganik diklasifikasikan sebagai hidrat (*salt hydrate*) garam dan logam (*metallic*). PCMs jenis ini tidak terlalu dingin dan panas peleburan tidak akan berkurang selama perputaran.

Hidrat Garam

Hidrat garam dapat dilihat sebagai campuran garam anorganik dengan air membentuk padatan kristal tertentu dari formula umum $AB \cdot nH_2O$. Perubahan bentuk padat-cair dari hidrat garam merupakan sebuah proses dehidrasi dari hidrasi garam. Hidrat-hidrat garam biasanya meleleh menjadi sebuah hidrat garam dengan mol air yang sangat kecil.



atau menjadi bentuk anhidrat,



Pada titik lelehnya, kristal-kristal hidrat terpecah menjadi garam anhidrat dan air atau ke dalam hidrat yang lebih rendah dan air.

Hidrat-hidrat garam merupakan jenis PCMs yang paling penting dan banyak dipelajari pada sistem penyimpanan energi. Sifat-sifat yang paling menonjol dari PCMs jenis ini adalah: panas peleburan laten per-satuan volume tinggi, konduktivitas panas relatif tinggi (hampir dua kali parafin) dan perubahan volume selama meleleh kecil. PCMs jenis ini juga tidak terlalu korosif, kompatibel dengan plastik dan hanya beberapa jenis yang beracun. Banyak jenis hidrat garam yang harganya tidak terlalu mahal untuk digunakan sebagai penyimpan panas. Pada Tabel 4 dapat dilihat beberapa jenis PCMs dari hidrat garam.

Tabel 4. Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa hidrat garam

Material	Titik leleh(°C)	Panas laten (kJ/kg)
$K_2HPO_4 \cdot 6H_2O$	14,0	109
$FeBr_3 \cdot 6H_2O$	21,0	105
$Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	25,5	148
$FeBr_3 \cdot 6H_2O$	27,0	105
$CaCl_2 \cdot 12H_2O$	29,8	174
$LiNO_3 \cdot 2H_2O$	30,0	296
$LiNO_3 \cdot 3H_2O$	30	267
$Na_2O_3 \cdot 10H_2O$	32,0	241
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	32,4	173
$KFe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	33	138
$CaBr_2 \cdot 6H_2O$	34	124
$LiBr_2 \cdot 2H_2O$	34	134
$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	36,1	223

Sumber : Sharma *et al.* 2009

Logam (*Metallic*)

Jenis ini juga mencakup logam dengan titik leleh rendah dan campuran logam. PCMs jenis ini belum banyak menjadi perhatian sebab sangat berat. Namun, jika volume menjadi perhatian, jenis ini menjadi pilihan karena mempunyai panas peleburan laten per-satuan volume yang tinggi. Di samping itu mereka juga mempunyai konduktivitas panas tinggi sehingga tidak diperlukan tambahan bahan pengisi yang berat. Daftar beberapa bahan *metallic* dapat dilihat pada Tabel 5.

PCMs kombinasi

PCMs kombinasi adalah sebuah komposisi dengan lelehan terendah dari dua komponen atau lebih, masing-masing meleleh dan membeku membentuk campuran dari komponen-komponen kristal selama proses kristalisasi (George 1989). PCMs jenis ini hampir selalu meleleh dan membeku tanpa pemisahan karena mereka membeku menjadi sebuah campuran kristal, memberikan sedikit kesempatan pada komponen-komponennya untuk memisahkan diri. Pada saat meleleh kedua komponen mencair secara berurutan dengan pemisahan yang tidak diinginkan.

Tabel 5. Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa *metallics*

Material	Titik leleh (°C)	Panas laten (kJ/kg)
Gallium-gallium	29,8	-
Antimony eutectic		
Gallium	30,0	80,3
Cerrolow eutectic	58	90,9
Bi-Cd-In eutectic	61	25
Cerrobend eutectic	70	32,6
Bi-Pb-In eutectic	70	29
Bi-In eutectic	72	25
Bi-Pb-tin eutectic	96	-
Bi-Pb eutectic	125	-

Sumber : Sharma *et al.* 2009

Tabel 6. Daftar PCMs kombinasi organik-anorganik

Material	Titik leleh (°C)	Panas laten (kJ/kg)
$CaCl_2 \cdot 6H_2O + CaBr_2 \cdot 6H_2O$	14,4	140
Triethylethane+water+urea	13,4	160
$CaCl_2 + MgCl_2 + 6H_2O$	25	95
$NH_3CONH_2 + NH_3CONH_2$	27	163
Naphtalene+benzoic acid	67	123,4
Freezer salt	-50	325
Freezer salt	-23	330
Freezer salt	-16	330

Sumber : Sharma *et al.* 2009

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi PCMs

Secara umum aplikasi PCMs ditunjukkan pada Tabel 7. Aplikasi-aplikasi ini dapat dibagi menjadi 2 (dua) kelompok utama yaitu perlindungan panas dan penyimpanan. Perbedaan kedua aplikasi tersebut berkaitan dengan konduktivitas panas dari bahan. Dalam beberapa hal perlindungan panas dibutuhkan nilai konduktivitas panas rendah, sedangkan pada sistem penyimpanan nilai tersebut dapat menimbulkan masalah karena dapat mengeluarkan energi yang memadai tetapi tidak mempunyai kapasitas yang memadai untuk membuang energi secara cepat.

Tabel 7. Aplikasi PCMs

No.	Aplikasi
1	Penyimpan panas dari energi matahari
2	Penyimpan pasif pada <i>bioclimatic building</i>
3	Pendingin pada bank es
4	Pemanas dan sanitasi air panas dalam ruang dengan peralatan computer atau elektrik
5	Perlindungan panas pada makanan selama transportasi, es krim, makanan produk agro, produk susu,
6	<i>Green house</i>
7	Perlindungan panas untuk elektronik
8	Aplikasi medis (transpor darah, vaksin)
9	Pendingin mesin

Sumber : Zalba *et al.* 2003

Bangunan

Penggunaan PCMs untuk penyimpan panas pada bangunan merupakan aplikasi pertama yang dipelajari, bersamaan dengan tangki penyimpanan.

Aplikasi pertama dari PCMs ini dijelaskan di literatur untuk penggunaan sebagai pemanas dan pendingin pada bangunan. Hal yang sangat penting dalam aplikasi PCMs pada bangunan adalah faktor keamanan. Satu hal yang menjadi kelemahan adalah memiliki berat termal rendah. Mereka juga cenderung mengalami fluktuasi yang tinggi sehingga memerlukan pemanasan dan pendinginan yang tinggi. Aplikasi PCMs untuk bangunan, karena kemampuannya untuk membuat variasi suhu yang halus, sangat menjanjikan (Mehling 2002)

Aplikasi PCMs dalam bangunan dapat mempunyai dua tujuan yaitu memanfaatkan sumber panas alam yaitu energi panas matahari pemanasan atau dingin malam untuk pendinginan serta memanfaatkan sumber panas atau dingin. Pada dasarnya ada tiga cara untuk

menggunakan PCMs sebagai pemanas atau pendingin bangunan, yaitu: PCMs dalam dinding bangunan, PCMs dalam komponen bangunan lain selain dinding, dan PCMs dalam unit pemanas atau pendingin.

Penggunaan PCMs untuk melepaskan dingin sudah dikembangkan untuk *air conditioning* (AC) dimana dingin diambil dari udara pada malam hari dan dikeluarkan pada saat yang paling panas di siang hari. Konsep ini dikenal sebagai pendinginan bebas. Aplikasi lain PCMs pada bangunan adalah *refrigerator thermoelectric*.

Perlindungan dan Transportasi Produk Yang Peka Terhadap Suhu

Jika produk makanan ditransportasikan, suhu makanan tersebut harus dijaga di atas suhu tertentu atau bila produk beku harus dihindari *defrosting*. Situasi yang sama berlaku untuk aplikasi medis. Kedua aplikasi tersebut sangat pas dengan menggunakan PCMs sebab PCMs mempunyai kemampuan untuk melepaskan panas dan dingin dalam rentang yang hanya beberapa derajat.

Komponen elektronik cenderung mengalami kerusakan sangat cepat jika dioperasikan pada suhu di atas suhu kritisnya. Aplikasi PCMs untuk produk ini sangat menjanjikan terutama karena PCMs dapat beraksi secara pasif tanpa memerlukan sumber energi tambahan.

Aplikasi yang lain adalah pada mesin *engine* dan mesin-mesin hidrolik seperti kendaraan bermotor. Dalam aplikasi ini pelepasan panas dipanaskan dengan cairan pendingin karena mesin sedang jalan. Ketika mesin berhenti, panas dilepaskan dan dapat digunakan untuk pemanas awal pada mesin saat menyala baru.

Sebagai contoh nyata, untuk aplikasi ini, Balai Besar Kimia dan Kemasan bekerja sama dengan KITECH, Korea telah melakukan penelitian dengan menggunakan PCMs yang diproduksi oleh KITECH. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa PCMs yang digunakan mampu mempertahankan suhu produk selama transportasi kira-kira 18-22 jam.

Ice storage

Aplikasi ini dapat dilihat dalam berbagai bentuk seperti bulat, es dalam pipa yang mengandung air dengan glikol, atau pada evaporator (ASHR AE 1999). Bentuk-bentuk ini digunakan oleh berbagai pabrikan dan merek dagang seperti *Sedical*, *Ciat*, *Baltimore Aircool*, atau *Calmac*.

Aplikasi lain

Cold storage juga banyak dikembangkan untuk aplikasi-aplikasi lain seperti mendinginkan sayuran, *pre-cooling* udara masuk pada turbin gas, atau menjaga suhu dalam ruangan yang berisi peralatan komputer atau elektrik. Demikian juga penggunaan *PCMs* untuk menghemat energi pada *green house* telah banyak dipelajari. Penggunaan *PCMs* pada pembangkit tenaga matahari juga sudah diteliti. Demikian juga penggunaan *PCMs* sebagai insulasi pada pakaian.

KESIMPULAN

Teknologi *Phase Change Materials* merupakan teknologi baru dan sangat menarik untuk dikembangkan. Berbagai jenis *PCMs* telah diulas dalam tulisan ini termasuk sifat-sifat yang dimiliki masing-masing bahan tersebut terutama bila dilihat dari titik leleh dan panas latennya. Dengan berbagai sifat yang dimiliki, *PCMs* dapat diaplikasikan untuk berbagai keperluan manusia terutama untuk meng-antisipasi krisis energi tak terbarukan yang sudah mulai melanda dunia sehingga *PCMs* menjadi satu alternatif pilihan. Aplikasi-aplikasi *PCMs* tersebut antara lain adalah untuk bangunan, *ice storage*, perlindungan dan transportasi produk yang rentan terhadap suhu, *green house*, dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

Abbat, A. 1981. Development of modular heat exchanger with an integrated latent heat storage. Report number BMFT FBT 81-050. Germany Ministry of Science and Technology. Bonn.

Alkan, C., Ahmet Sari. 2008. Fatty acid/poly (methyl methacrylate) (PMMA) blends as form-stable phase change materials for latent heat thermal energy storage. *Solar Energy* 82: 118-124.

Buddhi, D. and R.L. Sawhney. 1994. Proceedings on thermal energy storage and energy conversion. School of Energy and Environmental Studies. Devi Ahilya University. Indore. India.

Bruno, F. 2005. *Using phase change materials (PCMs) for space heating and cooling in building*. presented at the 2004 AURAH.

Diaconu, B.M., S. Varga, A.C. Oliveira. 2009. Experimental assessment of heat storage properties and heat transfer characteristics of phase change materials slurry for air conditioning application. *Applied Energy* 87 (2): 620-628.

George, A. 1989. Handbook of thermal design, in: Guyer C, editor. *Phase change thermal storage materials*. Mc. Graw Hill Book Co.

Peck, J.H , Kim Jeong Yeol, Wiwik Pudjiastuti. 2008. *Development of Cold Roll Box (CRB) Type Distribution System Using Phase Change Materials (PCMs) to Preserve Refrigerated/ Chilled Cargo*. Disampaikan pada joint researcher workshop Korea-Vietnam-Indonesia. Ho Chi Min.

Li, W.D. and E.Y. Ding. 2007. Preparation and characterization of cross-linking PEG/MDI/PE copolymer as solid-solid phase change heat storage material, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 91: 764-768.

Meng, Q. and Jinlian Hu. 2008. A poly(ethylene glycol)-based smart phase change material. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 92: 1260-1268.

Sharma, A., V.V. Tyagi, C.R. Chen, D. Buddhi. 2009. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Review* 13: 318-345.

Shukla, A., D. Buddhi, R.L. Sawhney. 2008. Thermal cycling test of few selected inorganic and organic phase change materials. *Renewable Energy* 33: 2606-2614. Elsevier Ltd.

Wang, W., X. Yang, Y. Fang, J. Ding. 2008. Preparation and performance of form stable polyethylenen glycol/silicon dioxide composites as solid-liquid phase change materials. *Applied Energy* 87 (5): 1529-1534.

Ye Hong and Ge Xin-shi. 2000. Preparation of polyerthylene-parafin compound as a form-stable solid-liquid phase change material. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 64: 37-44.

Zalba, B., J.M. Marin, L.F. Cabeza, H. Mehling.
2003. Review on thermal energy
storage with phase change: materials,
heat transfer analysis and applications.
Applied Thermal Engineering 23: 251-
283.